

単板剥ぎ取り機械に関する研究 (XXIV)*

単板切削における切削現象の変化に及ぼす切削速度の影響

杉 山 滋

長崎大学教育学部技術教育教室

(平成15年3月14日受理)

Studies on Veneer Cutting Machine (XXIV)*

Effects of Cutting Velocity upon Cutting Phenomena in Veneer Cutting

Shigeru SUGIYAMA

Department of Technology Education, Faculty of Education,
Nagasaki University, Nagasaki 852-8521

(Received March 14, 2003)

Abstract

Experimental works have been performed by many researchers^{1)~10)} on the effects of cutting velocity in the veneer cutting process, and it is known that these results are different. For instance, some results show practically no effect^{7), 9)} on cutting force, while others show a gradual increase^{3), 5), 8)} or a gradual decrease^{9), 10)} with increase in cutting velocity (V).

In the present experiment, veneer cutting tests were performed to obtain fundamental data on the effects of V on cutting force, frictional coefficient (μ), radius of veneer curvature (r) and knife check occurred in veneer by use of an experimental apparatus designed for cutting tests. The main results obtained are summarized as follows :

(1) In the range of very low cutting velocity below about 5 m/sec, the frictional force (F) and the normal force (N) of cutting force decrease so remarkably with increase in V . In the range of V of about 5~12 m/sec, their forces are not affected by V . In the range of V of relatively high cutting velocity above about 12 m/sec, F is not affected by V , but N increases gradually with increase in V .

(2) When cutting water-saturated workpieces μ is lower as compared with that when cutting air-dried workpieces, and when cutting not only water-saturated workpieces but also air-dried workpieces μ decreases gradually with increase in V .

(3) The radius r increases but knife checks occurred in veneer decreases with increase in V .

1. 緒 言

本研究では、ベニヤレースによる単板切削を直接の対象とし、この場合、切削速度の増加が単板切削現象の変化にどのような影響を及ぼすかを把握することを主目的とし、それに加えて、適正切削速度の選定のための基礎資料を得ようとするものである^{1)~10)}。切削実験では、我が国で合板用原木として多量に用いられているラワン類木材を被削材とし、試作した高速木材切削実験装置を用い、主として、実用切削速度 (1 ~ 6 m/sec) より速い速度範囲で切削したときの単板切削現象の変化を明らかにした。

* 前報「単板剥ぎ取り機械に関する研究 (XXIII) Studies on Veneer Cutting Machine (XXIII)」は、長崎大学教育学部紀要 — 自然科学 — 第68号 29~34 (2003. 3) に掲載。

2. 実験方法

本研究で用いた高速木材切削実験装置の概要を第1図に示す。同装置を用いての実験方法などは既報¹¹⁾で詳細に検討したが、本研究においても、既報¹¹⁾とほぼ類似した切削方法を採用した*¹。

3. 実験結果および考察

実験では、第2図に示すように、工具切れ刃面に加わる切削抵抗の主分力 F_H および背分力 F_V （切削方向と平行および垂直な方向に作用する分力）の測定を行った。 F_H および F_V の測定値を用いて、工具すくい面の摩擦係数 μ を求めるためにも、その成分である切削抵抗の摩擦力 F および垂直力 N （工具切れ刃すくい面と平行および垂直な方向に作用する分力）を次式により求めた（ただし、 θ は、工具切れ刃の切削角である）。

$$\left. \begin{aligned} F &= F_H \cos \theta - F_V \sin \theta \\ N &= F_H \sin \theta + F_V \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(3)式から求められる F および N の V に伴う変化を、第3図に示す。同図から明らかのように、 V の小さい範囲（ $V = 0.0023 \sim 5 \text{ m/sec}$ ）では、 F 、 N の増加に伴い減少の傾向

*¹ 高速木材切削実験装置は、回転するスチールディスク①と、切削抵抗を測定するための八角形弾性リング荷重装置⑤を装備した工具送り台⑥とから構成されている。試験片②はスチールディスクの外周中に固定され、また、工具③は八角形弾性リング荷重装置上に取り付けられた工具保持台④に一定の逃げ角 α を保つように固定されている（第2図参照）。スチールディスク、工具送り台はそれぞれ別途に装備された無段変速機⑩、⑪の回転によりウエッジベルト④、⑤を介して駆動する。したがって、この装置による切削実験では、切込量 t (mm) はスチールディスクの回転数 n (r.p.s) と工具の送り速度 f (mm/sec) によって、次式のように決定される。
 $t = f/n$ (1)

切削実験に先立ち、工具送り台前後移動ハンドル⑩および左右移動ハンドル⑪を用いて、試験片と工具の位置を定め、さらに、工具送りのための無段変速機⑩の電源遮断スイッチ③および工具送り台瞬間停止装置⑨の調整により、試験片の最終切削位置を確かめた。そののち、所定の t が得られるように、両無段変速機⑩、⑪の回転数を調整したのち、それらの回転により、数回のならし切削を行った。切削実験は、そののち開始した。

切削中の切削抵抗の変化は、八角形弾性リング荷重装置に貼付されたストレインゲージにより、同リングの微小な相対変位として検出される（第2図）。それらの微小変位を、直流増幅器を介して、フォトコーダに描かせた。

切削速度 V (m/sec) は、 n (r.p.s) とスチールディスクの回転軸中心から円弧を描く試験片の切削面までの距離 $D/2$ (mm) とを用いて、近似的に次式で表される¹²⁾。

$$V = 2\pi n(D/2) / 1000 \quad (2)$$

(2)式から明らかなように、この切削方式では毎回の切削で D が減少し、それに伴い V の変化が起る。そこで本研究では、 V の変化を僅小に保つため、既報¹¹⁾の方法のように、 D を特定の狭い範囲に限定し、その範囲での切削から切削現象の変化の観察と測定を行った。なお、設定した D の範囲における平均切削速度の誤差は、 $\pm 0.85\%$ 以内である。

また、この切削方式では、スチールディスクの回転軸を通る水平線に対する工具切れ刃先側のセット位置 h が問題となる。第1図および第2図に示すように、工具はその保持台に一定の逃げ角 α となるように固定されているが、切削の進行に伴い h と D とが原因して α の変化が起る¹²⁾。また、 α の変化に関連して、 t に対する単板厚さの変化も起る¹²⁾。 α の変化と単板厚さの変化とを僅小に保つため、 h を $t/(2\pi)$ だけ水平線より離れた位置^{12), 13)}（第2図に示すように、水平線より上側の位置）にセットした。

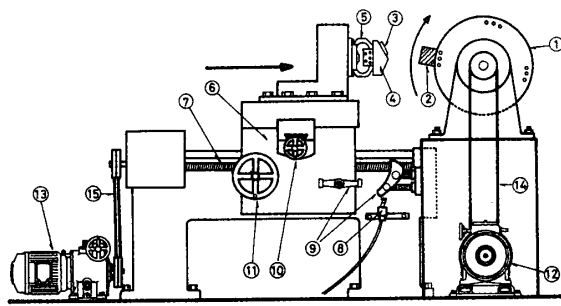
この実験に用いた工具は、その材質が高速工具鋼SKH2（兼房刃物工業(株)製）で、刃先角 β は 25° であり、逃げ角 α は 1° 一定となるよう保った。切込量 t は1.0, 2.0, 3.0および4.0 mmの4段階とし、プレッシャバーを作用させないで二次元横切面を行った。いずれの t の切削においても、試験片の切削面を板目（木表側を切削）とし、髄を中心とした同心円状（円弧の直径は約500 mm）となるような横切面を行った。

供試材には、フィリピンミンダナオ島西海岸産のタンギール（*Shorea polysperma* MERR.）の心材部を用いた。上記の同一原木から、二方まさ木取りの角材（断面は75 mm × 75 mm）を採取し、1切削条件5個の試験片（切削幅は10 mm）を採取、気乾状態（平均気乾比重0.45、平均含水率13.2%）および飽水状態（約1か月間水中に浸漬した状態）に調整したのち、供試した。

切削抵抗波形の測定では、オシログラフに描かれた切削初回から切削終了までの15回（ t の大きい場合）～30回（ t の小さい場合）の切削繰返しによる切削抵抗波形の中から、つぎのものを測定の対象とした。スチールディスクの回転軸中心から切削面までの距離 $D/2$ をあらかじめ決定しておき、それに対応する1つの切削抵抗波形を基準とし、その前後2つ（ t の大きい場合）～3つ（ t の小さい場合）の波形、即ち、1試験片につき5～7つの切削抵抗波形を測定の対象とした。これを5個の試験片により繰返すから、測定の対象となる切削回数の合計は25～35回であり、その平均値をもって切削抵抗とした。

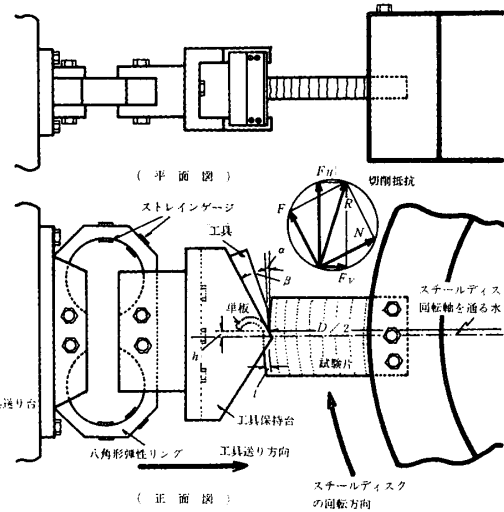
単板の彎曲半径の測定では、切削直後の単板の側面（木口面）にスタンプインクを塗り、台紙に転写後、切削の始めと終りの彎曲状態の不安定部分を除き、切削長さの中央部における半径を測定した。裏割れの侵入程度の測定では、単板裏面にスタンプインクを含浸させ、乾燥後、単板の木口面を切断し、同面を20倍の万能投影機で拡大し測定した。

切削速度 V は、切削実験装置の工具送り台移動のための変速機構（プーリの径、無段変速機の減速比）の制限から、つぎのように設定した。即ち、最大切削速度を $t = 1.0 \text{ mm}$ の場合には、 $V = 40.50 \text{ m/sec}$ としたが、 $t = 2.0, 3.0$ および 4.0 mm の場合には、上記の場合より低い速度の25.80, 16.62および12.77 m/secとした。いずれの t の場合も、0.0023 m/secの極低速度から、上記の速度までの11～15段階に、 V を変化させた。



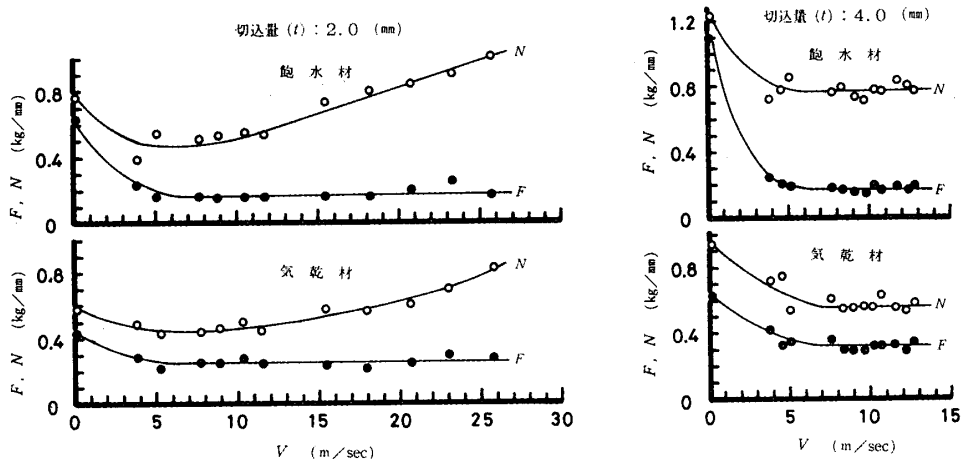
第1図 切削実験装置 (正面図)

- ①: スチールディスク; ②: 試験片; ③: 工具; ④: 工具保持台; ⑤: 八角形弾性リング荷重装置; ⑥: 工具送り台; ⑦: 親ねじ; ⑧: 電源遮断装置; ⑨: 工具送り台瞬間停止装置; ⑩および⑪: 工具送り台前後および左右移動ハンドル; ⑫および⑬: 無段変速機; ⑭および⑮: ウエッジベルト。



第2図 切削抵抗の測定方法および切削実験の概要

F_H および F_V : 切削抵抗主分力および背分力; F および N : 切削抵抗摩擦力および垂直力; R : 切削抵抗合力; α : 逃げ角; β : 刃先角; t : 切込量; h : スチールディスクの回転軸を通る水平線と刃先との間隔; $D/2$: スチールディスクの回転軸中心から切削面までの距離 (円弧を描く切削面の半径)。

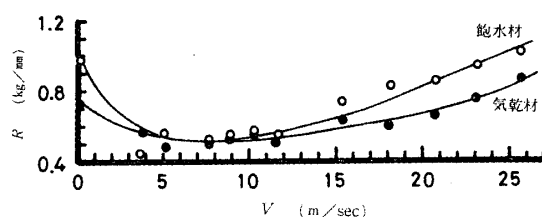

 第3図 切削抵抗摩擦力 (F) および垂直力 (N) と切削速度 (V) との関係

(切込量 t が大きいほど、その減少傾向が著しい) を示すが、 V が比較的大きい範囲 ($V = 5 \sim 12 \text{ m/sec}$) では、 F, N ともに V の影響を受けずほぼ一定の傾向 (あるいは、 N のみ V の増加に伴い若干漸増の傾向) を示す。しかし、 $V = 12 \text{ m/sec}$ を越える範囲では、 F, N の V の変化に伴う傾向が異なる。即ち、この速度範囲では、 F は V の影響を受けずほぼ一定の傾向を示すが、 N は V の増加に伴い漸増の傾向 (t が大きいほど、その増加傾向が著しい) を示し、極低速度 ($V = 0.0023 \text{ m/sec}$) における N よりも大きい値を示すに到る。

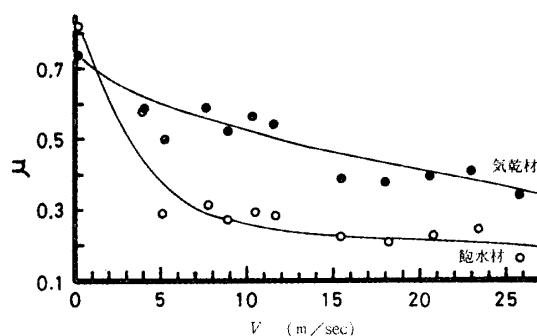
ベニヤレースの場合、切削所要動力は空転時動力と切削時動力の和で表され、このうちの切削時動力は、切削抵抗と切削速度 V の積に比例して大きくなる¹⁴⁾。したがって、 V を増加させた場合、切削時動力の大小は、切削抵抗の大きさに直接左右される。そこで、切削抵抗と V との関係をより明確にするため、切削抵抗の合力 R を次式により求めた。

$$R = \sqrt{F_H^2 + F_V^2} = \sqrt{F^2 + N^2} \quad (4)$$

(4) 式から求められる R と V との関係の一例を第4図に示す。同図より明らかなように、



第4図 切削抵抗合力(R)と切削速度(V)との関係の一例(切込量2.0 mmの場合)



第5図 摩擦係数(μ)と切削速度(V)との関係の一例(切込量2.0 mmの場合)

V の増加に伴い R は、 V の小さい範囲($V=0.0023 \sim 5$ m/sec)では減少する傾向を示し、 $V=5 \sim 12$ m/secの範囲ではほぼ一定で最小値を示すが、 $V=12$ m/secを越える範囲では増加する傾向を示した(即ち、 R はミニマムカーブを描く傾向となった)。

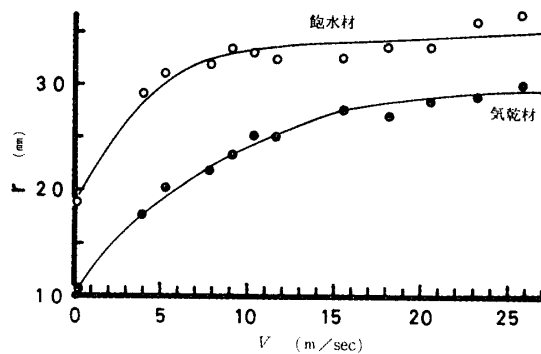
なお、本実験では、 V の変化に伴う F および N の変化の程度は、気乾材よりも飽水材の場合に著しく、その結果として、飽水材における R は、 V の小さい範囲と大きい範囲で、気乾材における R より大きい値を示した。

従来、切削速度 V の広い範囲にわたっての切削抵抗の変化については、実験結果が乏しい。これらの結果は、必ずしも一定の傾向を示していない。例えば、既報の報告によれば、切削抵抗は、 V の増加に伴い減少する^{8), 10)}、一定である^{7), 9)}、あるいは増加する^{3), 5), 8)}、などの実験結果が報じられている。本研究結果は、 V を比較的狭い範囲に限定して考えれば、既往の諸研究と比較的近似の傾向と言えるが、 V の広い範囲で考えた場合、既往の諸研究とは全く異なる傾向となったが、これは切込量、被削材質やその他切削条件の相違に基づくと考えられる。

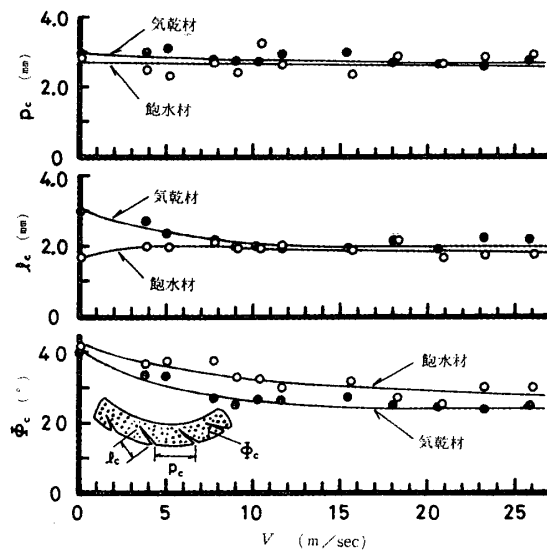
単板と工具切れ刃すくい面との摩擦係数 μ の変化は、切削現象と比較的密接に関連があるが、これまでの筆者らの研究により、つぎのような知見^{15), 16)}を得ている。即ち、 μ の減少は、単板の曲率(彎曲半径 r の逆数)や単板内部の裏割れの侵入度を減少させるなどの単板生成形態の変化をもたらす。しかも、つぎの切削における単板表面に相当する被削母材に良好な切削加工面をもたらす、などを明らかにしてきた。そこで、前記の F および N を用いて、次式により μ を算出して、 μ を切削現象との関係について検討してみた。

$$\mu = F / N \quad (5)$$

(5)式から求められる μ の V に伴う変化の一例を第5図に示す。同図から明らかなように、気乾材、飽水材ともに μ は、 V の増加に伴い漸減の傾向を示した(飽水材は、気乾材よりも μ は低い値を示した)。一般に、切削における工具切れ刃すくい面と単板との摩擦では、 F および N が同時に変化する。したがって、 μ は、 N の増加(または減少)に対する F の増加(または減少)の割合を意味することになる。第3図から当然予想されるように、例えば、 $t=2.0$ mmの場合、 V の小さい範囲($V=0.0023 \sim 5$ m/sec)で μ が V の増加に伴い減少傾向を示すのは、 F および N がともに減少傾向を示し、しかも、 F の N に対する割合が小さい(V の増加に伴う F の減少が N のそれよりも大きい)ことを意味し、 V が比較的大きい範囲($V=5 \sim 12$ m/sec)で μ が減少傾向を示すのは(第5図では、バラツキを考慮して μ を減少傾向で図示したが、 F 、 N 両者の V に伴う変化から考えれば、こ



第6図 単板彎曲半径(r)と切削速度(V)との関係の一例 (切込量 2.0 mm の場合)



第7図 単板裏割れの間隔(p_c), 侵入長さ(l_c), および侵入角度(ϕ_c)と切削速度(V)との関係の一例 (切込量 2.0 mm の場合)

の速度範囲のみでは, μ はほぼ一定とも考えられる), F が V の影響を受けずほぼ一定の傾向を, また, N もほぼ一定か, あるいは V の増加に伴い若干漸増する傾向を示すから, F の N に対する割合がほぼ一定か, あるいは小さくなることを意味する。また, $V = 12 \text{ m/sec}$ を越える範囲で μ が減少傾向を示すのは, F が V の影響を受けずほぼ一定の傾向を示し, N が漸増の傾向を示すことから, F の N に対する割合がさらに小さくなることを意味する。

このように, V の増加に伴い F の N に対する割合が次第に小さくなると, これが原因の一つとなって切削現象の変化をもたらす。切削現象 (単板の彎曲半径および裏割れの侵入程度) と V との関係の一例を第6図および第7図に示す。単板の彎曲半径 r と V との関係 (第6図) によれば, 気乾材, 飽水材いずれも V の増加に伴い r は漸増の傾向を示した。また, 裏割れの侵入程度と V との関係 (第7図) によれば, 裏割れの間隔 p_c は, V の影響を受けずほぼ一定の傾向を示すが, 裏割れの侵入長さ l_c は, V の増加に伴い, 気乾材では漸減の傾向を, また, 飽水材では若干漸増の傾向を, それぞれ示すが, $V = 5 \text{ m/sec}$ を越える範囲では, 気乾材, 飽水材の相違は殆ど現れず, V の影響も受けない。

一方, 裏割れの侵入角度 ϕ_c は, 気乾材, 飽水材いずれも V の増加に伴い漸減の傾向を示し, 次第に, 切削角 θ と同じ角度 (即ち, $\theta = 26^\circ$) に漸近する傾向を示した。これは, 裏割れの二次的発達の変化を意味すると考えられる。即ち, V の小さい範囲では, 工具切れ刃の前進により, 刃先前方の被削材には, 比較的大きい角度で裏割れが侵入するが, その後に生成された単板が切れ刃すくい面を擦過する過程で, 単板がすくい面により上方へ押し曲げられる。その結果, 裏割れの二次的発達を促し, さらに大きい角度で割れの侵入を促す。しかし, このような割れの二次的発達, V の増加に伴い次第に減少してくる。

このように, V の増加に伴い μ の減少, 即ち, F の N に対する割合が小さくなると, N の割には比較的小さい F が工具すくい面に働くことを意味するから, 単板は, 工具すくい面上を比較的滑らかに擦過し (工具すくい面への“単板の喰い付き”が小さい), 大き

い彎曲半径 r と小さい裏割れの侵入角度 ϕ をもつに到る。即ち、 μ の減少は、より“腰”の強い（即ち、単板の横引張り強さが大きい）単板を生成することになる。

4. 結 言

ロータリー単板切削を対象として、高速木材切削実験装置（第1図）による単板切削実験（プレッシャバーを作用させずに、二次元横切削実験）を行い、工具切れ刃面に加わる切削抵抗、すくい面の摩擦係数 μ 、単板彎曲半径 r 、および裏割れの侵入程度などに及ぼす切削速度 V の影響を明らかにした。

文 献

- 1) 大平 裕：林試研報，No. 153，41（1963）。
- 2) J. F. Lutz, A. F. Mergen and H. R. Panzer : *U. S. F. P. L. Rept.*, No. 0176, 1（1967）。
- 3) C. C. Peters, A. F. Mergen and H. R. Panzer : *For. Prod. Jour.*, 19, 37（1969）。
- 4) J. C. Cade and E. T. Choong : *ibid.*, 19, 52（1969）。
- 5) C. C. Peters and R. A. Patzer : *ibid.*, 26, 19（1976）。
- 6) C. C. Peters : *ibid.*, 26, 26（1976）。
- 7) E. Kivimaa : *Holz als Roh-u. Werks.*, 10, 94（1952）。
- 8) 林 大九郎，栃木紀郎，仲宗根 彰：第26回日本木材学会大会研究発表要旨，p.129（1976）。
- 9) 関口八重吉：機械学会誌，37, 444（1934）。
- 10) 林業試験場編：“木材工業ハンドブック 旧版”，丸善，p. 330（1958）。
- 11) 杉山 滋，松尾文雄：木材学会誌，27, 863（1981）。
- 12) 林 大九郎：東教大農学部紀要，8, 179（1962）。
- 13) 黄 彦三：木材工業，26, 213（1971）。
- 14) F. Kollmann; “Technologie des Holzes und der Holzwerkstoff II”，Springer-Verlag, p. 411（1955）。
- 15) 杉山 滋：木材学会誌，24, 19（1978）。
- 16) 杉山 滋，徳山祐治：同上，24, 612（1978）。